

비닐하우스 골조에 작용하는 풍하중에 대한 강선보강효과

Effect of Wire Bracing to Wind Load Acting on Vinyl House Frame

정 동 조* 탕 차 이**
Jung, Dong-Jo Teng, Chhay

Abstract

Vinyl house is a simple agricultural structure that is installed economically and easily. In contrast, every year the farmers have spent a lot of money because of the collapse of this structure caused by the external forces such as strong wind and heavy snow. To prevent this damage due to frequent heavy snow and strong wind, it would be necessary to design it again. But getting rid of former vinyl house and reconstructing is unreasonable. It would be very economic if the former vinyl house is strengthened simply.

This paper covers the investigation of the effect of the bracing systems that are additionally inserted inside the ordinary single frames as well as unbraced multiple frames that resisting only the strong wind load.

키 워 드 : 비닐하우스, 풍하중, 연동구조, 효과적인 구조

Keywords : Vinyl house, wind load, multiple frame, efficient structure

1. 서 론

비닐하우스는 농가에서 많이 사용하고 있는 농가 건축물로서 적용 비용으로 간단하게 설치할 수 있다. 지난 2003년 9월 4일, 우리나라에 약 7시간 가량 머물렀던 태풍 매미는 전국적으로 4조 7,000억원 정도의 재산 피해(이중 사유시설 피해액 1조 5,000억원)와 10,975명의 이재민을 발생시켰다. 태풍 매미로 인하여 비닐하우스의 경우에는 약 2,110 ha 정도의 피해가 발생하였다. 비닐하우스의 강풍피해 양상은 폭설피해 양상에 비해 매우 다양하게 나타나며 골조의 파손, 피복재의 파열, 기초의 인발, 결합부의 이탈 또는 파손 등으로 구분할 수 있고 골조와 기초 및 접합부의 일부 파손은 대부분 전파로 진전되는 경우가 많다.¹⁾ 비닐하우스의 피해를 방지하기 위해서는 재설계를 통하여 재시공되어야 하지만 기존의 비닐하우스를 모두 철거하고 재시공하는 것은 농가에 경제적으로 많은 부담을 주게 된다. 따라서 이러한 기존의 비닐하우스를 간단한 방법으로 보강하여 사용할 수 있다면 매우 경제적일 것이며, 또한 이러한 보강방안은 아치형구조물의 경제적인 설계를 위해 채용될 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 정부에서 권장하는 표준형 비닐하우스 골조에 대하여 적은 비용으로 효과적으로 보강할 수 있는 보강방법에 대하여 연구하였다. 본 연구에서는 단동형골조와 두 개의 골조가 횡으로 연결되는 연동형골조를 기

본 형태로 하여 이 골조에 작용하는 풍하중에 대한 강선보강효과를 연구하였다. 이 연구에서는 구조용 강선이 설치된 구조체의 해석을 위해 현재 우리나라에서 많이 사용하고 있는 범용프로그램인 Midas-Gen을 사용하였다.

2. 표준형 비닐하우스의 종류

비닐하우스란 일반적으로 외부 피복재가 PE, EVA, PVC 등의 플라스틱 소재로 되어있는 온실을 말하며, 온실의 골조는 아연도금 구조용 강관이 사용되고 있다. 비닐하우스의 종류는 대체로 형태에 의하여 분류하며, 지붕의 형상에 따라 터널형, 아치형, 지붕형²⁾ 등이 있고 일부 지역에서는 지붕이 넓고 폭이 긴 광폭형하우스를 사용하는 경우도 있다. 또한 골조의 폭방향 배치방식에 따라 크게 단동형과 연동형으로 나누고 있다.

비닐하우스는 80년대 표준화에 의한 농수산식, 90년대의 농가보급형 자동화 비닐온실 등 많은 종류가 개발 보급되었으며, 농촌진흥청 원예연구소에서 95년, 97년, 99년에 걸쳐 농가보급형 비닐하우스의 표준설계도를 수정, 보

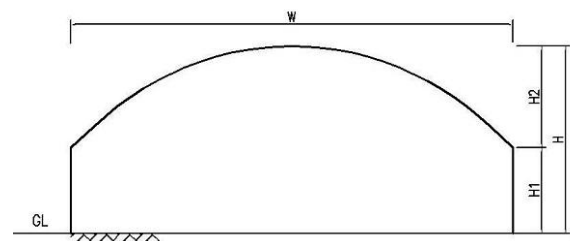


그림 1. 표준형 비닐하우스 구조체의 형태

* 정희원, 전주대학교 공과대학 건축공학과 교수, 공학박사
(교신저자, E-mail: jung2621@jj.ac.kr)

** 정희원, 전주대학교 대학원 석사과정

1) 이석건, 풍·설해 경감을 위한 비규격 소형 비닐하우스모델의 개발, 한국과학재단, 2004

2) 이병일 외 14인, 시설원예학, 향문사, 서울, 2002, p.37

완하여 각 농가에 보급하였다. 그러나 최근의 기상 이변으로 인한 대설과 강풍 등에 의한 피해가 빈발함에 따라 2007년 농림부에서는 원예특작시설에 대한 내재해형 규격 인정기준³⁾을 지정고시하였다.

그림 1에 나타낸 것은 기존 표준비닐하우스의 형태로서 W, H, H1 및 H2의 크기에 의하여 표준비닐하우스의 규격이 정해지게 된다. 표 1은 농촌진흥청에서 2001년 1월에 고시한 농가 지도형 비닐하우스 중에서 단동형에 관한 것으로 각 부분의 크기를 나타내고 있다.

표 1의 표준비닐하우스 구조체 중 G형이 가장 큰 폭을 가지고 있으므로 본 연구에서는 이 모델을 사용하여 구조해석 및 비교분석을 실시한다.

표 1. 표준 비닐하우스의 형태 및 부재규격

하우스 규격	W (m)	H1 (m)	H (m)	길이 (m)	서까래 간격 (cm)	서까래 규격 (mm)
기본형	4.8 이상	-	2.0	10 이상	-	-
A형	4.8	1.1	2.3	97	80	φ22×1.2
B형	5.4	1.2	2.6	97	90	φ25×1.5
C형	6.0	1.3	2.9	97	90	φ25×1.5
D형	6.5	1.6	3.0	97	90	φ25×1.5
E형	7.0	1.4	2.8	97	100	φ32×1.5
F형	7.8	1.4	3.1	97	100	φ32×1.5
G형	8.2	1.6	3.5	97	100	φ32×1.5
H형	5.4	1.6	3.0	97	50	φ22×1.2
I형	6.0	1.7	3.3	97	60	φ25×1.5
J형	7.5	1.6	3.9	97	70	φ32×1.5

3. 비닐하우스골조의 보강 방안

풍하중에 의한 비닐하우스 골조의 항복을 방지하기 위해서는 응력이 최대가 되는 곳에서의 휨모멘트를 감소시키면 될 것이다. 본 연구에서는 크게 3가지 방법을 사용하여 비닐하우스를 보강하였다. 첫 번째 방법은 그림 2에서 보는 바와 같이 먼저 3mm 직경의 강선을 사용하여 골조 하단의 1번 절점과 골조 상단의 10번 절점을 연결하고, 이 선과 2번 절점의 내각을 2등분하는 선이 만나는 20번 절점에서부터 2번 절점까지의 거리를 5등분하여 그림 3에 나타난 바와 같은 5가지의 분기형 가새로 골조의 내부를 보강하는 방법이다.

3) 원예특작시설 내재해기준 지정고시, 농림부, 2007

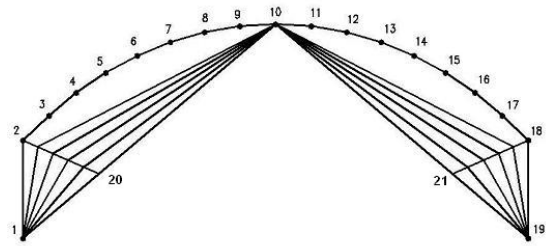


그림 2. 분기형가새의 보강 형태

그림 3은 기존 표준비닐하우스 G형과 이 골조의 좌우측에 분기 위치를 달리한 분기형 가새가 설치된 5개의 해석 모델을 나타낸 것이다. 이 연구에서는 분기형 가새

그림 3. 표준형 골조 및 분기형가새로 보강된 골조가 설치된 모델들의 응력과 변위를 보강이 없는 표준형 골조와 비교하여 분기형 가새의 풍하중에 대한 보강효과를 확인하고자 한다.

두 번째 방법은 수평가새를 이용하여 골조를 보강하는 것이다. 그림 4에서 보는 것처럼 수평가새의 설치 높이를 달리하는 4개의 모델을 해석모델로 선정하였다. 모델 7은 강선이 가장 높은 위치에 설치되었으며, 강선의 보강위치가 점점 아래로 이동하여 모델 10의 경우는 강선이 아치의 하단에 연결되어 있다.

그림 4. 수평가새로 보강된 골조

세 번째 방법은 강선을 X자 형태로 보강하는 것이다. 그림 5에서 보는 것처럼 X형가새의 설치 높이를 달리하는 4개의 모델을 해석모델로 선정하였다. 모델 11은 강선이 아치 하단과 아치 상단에 대칭으로 연결되어 있으며, 강선 상단의 연결위치가 점점 아래로 이동하여 모델 14의 경우는 한 개의 강선이 2번 절점과 16번 절점에, 나머지 한 개의 강선이 18번 절점과 4번 절점에 연결되어 있다.

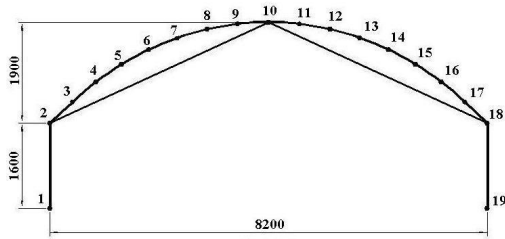
그림 5. X형가새로 보강된 골조

4. 풍하중의 계산

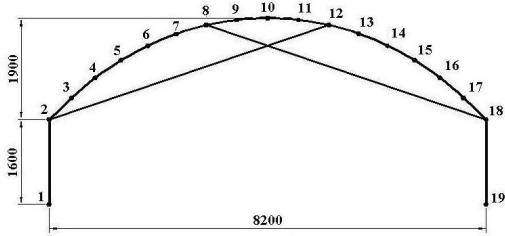
비닐하우스는 구조용 강관으로 형성된 골조의 외부에 플라스틱 피복재를 시공한 것으로서 이것에 작용하는 풍하중은 구조체를 붕괴시킬 수 있는 하중들 중 하나이다. 바람에 의한 구조체의 파괴는 대부분 강풍에 의해 발생한다. 우리나라에서 발생하는 강풍은 태풍, 계절풍 및 전선풍 등이 있으며, 바람에 의해 구조체에 작용하는 풍력은 풍속, 난류강도, 지형, 지표면 형상과 함께 구조물 자신의 규모, 형상, 강성 등에 따른 동적응답과 연관하여 크게 상이하게 나타난다.

비닐하우스 골조의 각 부위에 작용하는 풍하중의 크기는 건설교통부 고시 건축구조설계기준(2005)에 따라 계산되었으며 계산과정은 다음과 같다.

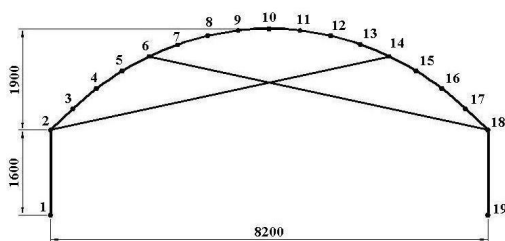
먼저 설계지역의 지표면으로부터 높이가 Z 인 지점의



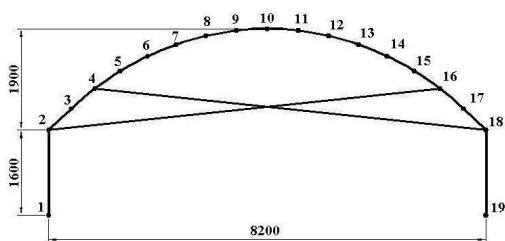
(a) Model 11



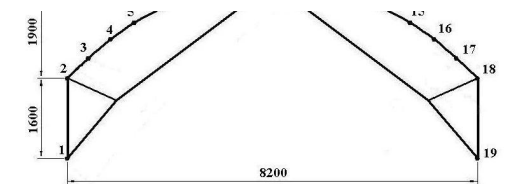
(b) Model 12



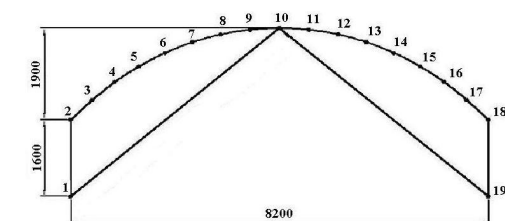
(c) Model 13



(d) Model 14



(e) Model 5



(f) Model 6

설계풍속 V_z)는 기본풍속, 풍속의 고도분포, 지형에 의한 풍속할증, 건축물의 중요도 등을 고려하여 (식-1)에

4) 건축물 하중기준 및 해설, 대한건축학회, 서울, 2000, p.32

의해 산정한다.

$$V_z = V_o \cdot K_{zr} \cdot K_{zt} \cdot I_w \quad (\text{식-1})$$

여기서,

V_o : 기본풍속 (m/s)

K_{zr} : 풍속의 고도분포계수

K_{zt} : 지형에 의한 풍속할증계수

I_w : 건축물의 중요도계수

구조물의 설계를 위한 기본풍속 V_o 는 구조물이 위치한 지역에 따라 다르며, 본 연구에서는 전북 김제의 기본풍속인 30m/sec를 사용하였다. 풍속의 고도분포계수 K_{zr} 는 바람이 지표면과의 마찰 때문에 풍속이 지표면 가까이에서는 감소하고 상공으로 올라갈 수록 증가하는 현상을 고려하는 것으로서 본 연구에서는 지표면조도구분 C를 적용하여 풍속고도분포계수 1.0을 사용하였다. 그리고 지형에 의한 풍속할증계수 K_{zt} 는 산의 능선이나 정상, 언덕, 경사지, 절벽 등 국지적인 지형의 영향으로 인해 풍속이 증가하는 현상을 고려하는 것으로서 본 연구에서는 평탄한 지역에 대한 풍속할증계수 1.0을 사용하였다. 건축물의 중요도계수 I_w 는 구조물의 용도, 사회성, 경제성 및 중요도를 고려하여 설계용 재현 기간에 따라 결정하는 것으로서 본 연구에서는 중요도 3으로 분류하여 중요도계수 0.81를 적용하였다.

설계높이에 대한 설계속도압 q_z 은 (식-2)에 의해 산정한다.

$$q_z = 0.5 \rho V_z^2 \quad (\text{식-2}) \quad (\text{kgf/m}^2)$$

여기서,

ρ : 공기밀도로써 균일하게 $0.125 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ 적용

V_z : 설계지역의 지표면으로부터 임의높이 Z 에 대한 설계풍속 (m/s)

주골조 설계용 설계풍압 P_z 은 다음 식에 따라 산정한다.

$$P_z = q_z \cdot G_f \cdot C_p \quad (\text{식-3})$$

여기서,

q_z : 지표면에서 임의높이 z 에 대한 설계속도 압

G_f : 구조골조용 가스트영향계수

C_p : 풍압계수

구조골조용 가스트영향계수 G_f 는 강풍에 의한 구조물의 최대변위와 평균변위의 비율로 정의되며, 본 연구에서는 노풍도 C 를 적용하여 가스트영향계수 1.9를 적용하였다.

구조물의 배치 및 형상 등으로 인해 구조물 주위의 유동 특성이 달라지며, 풍압계수 C_p 의 추정에는 풍동실험에 의존하는 경우가 많으나 여기서는 건설교통부 고시 건축구조설계기준의 곡면지붕 외압계수⁵⁾를 사용하였다. 외압계수는 지표면에서 곡면지붕 처마까지의 높이로 구분하고 지붕면 높이, 지붕면 경간에 따라 풍상 면과 풍하면 1/4 경간부분과 지붕 중앙부분의 값으로 구분하여 적용한다. 풍상벽의 외압계수는 0.8, 풍하벽은 -0.6을 적용하였으며, 곡면지붕에 사용한 외압계수는 표 2와 같다.

표 2. 곡면지붕 외압계수 C_p 의 값

γ (H_2/W)	C_p		
	풍상면 1/4 부분	중앙부 1/2 부분	풍하면 1/4 부분
0.232	0.048	-0.932	-0.5

(식-1)과 (식-2) 및 (식-3)을 사용하여 단동형 비닐하우스 골조의 각 부위에 작용하는 설계풍압을 구하였으며, 그 결과를 그림 6에 나타내었다.

그림 6. 단동형 구조물에 작용하는 설계풍하중

5. 보강방법의 비교

본 연구에서는 범용프로그램인 Midas-Gen을 사용하여 3가지 형식의 비닐하우스 보강골조에 대한 구조해석을 실시하였고 골조의 휨모멘트와 수평변위 등을 비교검토하였다. 해석을 위한 비닐하우스 골조의 기본 형태는 표 1의 G형을 사용하였고 골조의 규격은 $\phi 32 \times 1.5$ 의 원형파이프, 풍하중 보강용 내부가새는 3mm 직경의 강선을 사용하였다. 골조 하부의 지지조건은 회전단으로 하였으며, 강선과 강선, 그리고 강선과 파이프골조의 접합은 핀접합을 사용하였고, 파이프골조는 보요소, 강선은 인장력만을 부담할 수 있는 요소로 가정하였다.

그림 7은 그림 3에서 보는 바와 같은 좌우 처마 부위에 분기형가새로 보강된 비닐하우스 골조에 풍하중이 작용하였을 때 파이프 골조의 각 부위에서 발생하는 휨모멘트의 변화를 나타낸 것이고 그림 8은 이 골조들의 최대휨모멘트를 나타낸 것이다. 그림을 보면 처마에서부터

분기형가새의 분기 위치가 멀어질수록 골조의 최대휨모멘트는 작게 나타났으며, 모델 1부터 모델 4까지는 최대휨모멘트의 감소가 크게 나타났다. 모델 4에 발생한 최대휨모멘트는 보강이 없는 모델 1과 비교했을 때 34.6% 정도로서 매우 양호한 보강효과를 보였다.

그림 9는 비보강 골조와 분기형가새로 보강된 5개의 비닐하우스 골조에 풍하중이 작용하였을 때 골조의 최대수평변위를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 분기형가새가 설치되면 수평변위가 급격히 감소하게 되며, 처마에서부터 분기형가새의 분기 위치가 멀어질수록 골조의 최대수평변위는 더 작게 발생하였다.

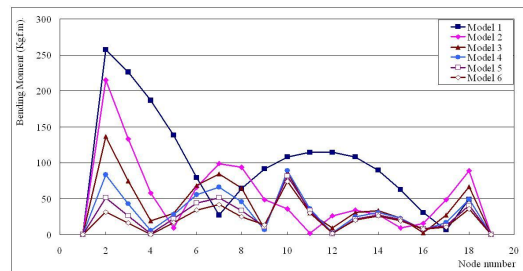


그림 7. 분기형가새가 보강된 골조의 휨모멘트

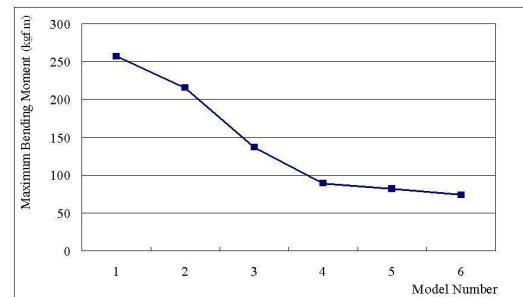


그림 8. 분기형가새가 보강된 골조의 최대휨모멘트

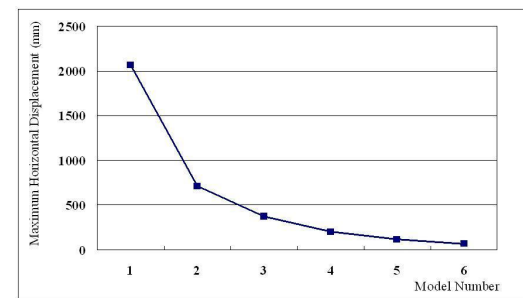


그림 9. 분기형가새가 보강된 골조의 최대수평변위

가새의 분기 위치가 처마에서 멀어질수록 응력과 변위에 대한 보강효과는 우수하나 비닐하우스 내부에서의 작업에 많은 지장을 초래할 수 있으므로 모델 3과 4 정도의 보강위치가 적절할 것으로 판단된다.

그림 10은 내부에 수평가새를 보강한 비닐하우스 골조에 풍하중이 작용했을 때 골조에서 발생한 최대휨모멘트를 나타낸 것이며, 그림 11는 X형가새를 보강한 골조에서 발생한 최대 휨모멘트를 나타낸 것이다. 그림 10에서

5) 건설교통부고시 건축구조설계기준, 대한건축학회, 서울, 2005, p.77

보는 바와 같이 수평가새로 보강된 모든 해석모델들은 보강위치에 관계없이 보강이 없는 모델 1과 거의 유사한 크기의 최대휨모멘트를 보여 주고 있다. 또한 그림 11에서 보는 것처럼 X형가새로 보강한 해석모델들도 보강이 없는 경우보다 오히려 더 크거나 유사한 응력의 발생을 보이고 있다. 따라서 적설하중과 같은 수직하중에 대한 보강효과가 뛰어난 것으로 입증된 수평가새와 X형가새가 풍하중에 대해서는 효과가 없거나 오히려 응력의 상태를 악화시킬 수 있는 것으로 나타나고 있다.

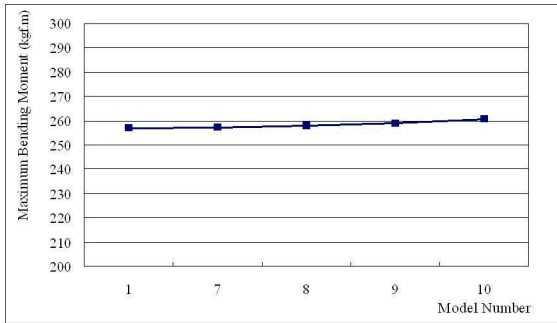


그림 10. 수평가새가 보강된 골조의 최대휨모멘트

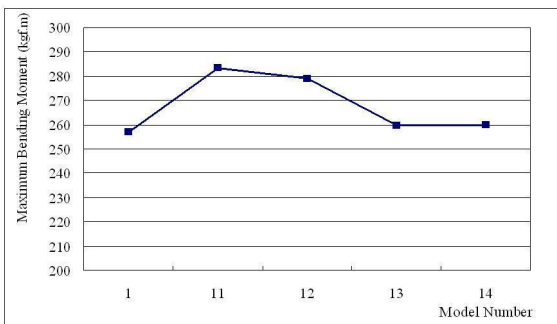
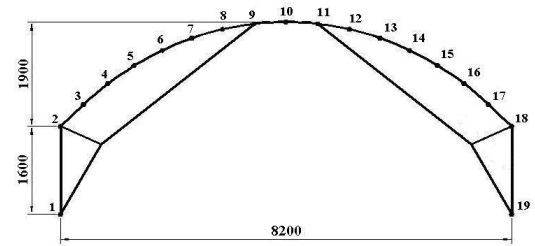


그림 11. X형가새가 보강된 골조의 최대휨모멘트

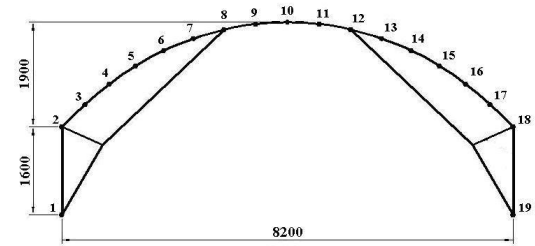
그림 12는 풍하중에 대한 보강효과와 골조 내부에서의 작업성 등을 고루 만족시킬 수 있는 해석모델 4를 토대로 분기형가새의 상부 접합위치를 절점 10에서 조금씩 하부로 이동시켜 가면서 접합위치를 새롭게 형성한 해석 모델들이다. 구조해석 프로그램 Midas-Gen을 이용하여 이 모델들에 대한 구조해석을 실시하였고 골조의 규격 결정에 절대적인 휨모멘트와 최대수평변위를 구하였다. 그림 13은 4개의 해석모델에 대한 골조 각 부위의 휨모멘트 변화, 그림 14는 골조의 최대휨모멘트, 그림 15는 골조의 최대수평변위를 나타낸 것이다.

그림 14와 15에서 보는 바와 같이 분기형가새의 상부가 아치 상단에 접합되는 해석모델 4보다 아치 상단에서 스펀의 1/16 정도 떨어진 절점 9와 11에 접합되는 해석모델 4A에서 더 큰 응력과 변위의 감소를 보였으며, 최대휨모멘트의 경우 모델 4A는 모델 4의 65.7%, 최대수평변위의 경우 47.8%로 감소하였다. 분기형가새의 상부접합

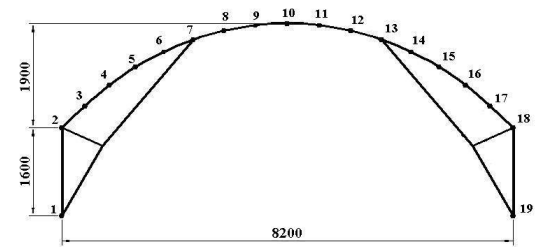
부가 아치 상단에서 스펀의 1/8 정도 떨어진 절점 8과 12에 형성된 모델 4B의 경우에서도 모델 4보다 우수한 보강효과를 보였다.



(a) Model 4A



(b) Model 4B



(c) Model 4C

그림 12. 분기형가새의 설치위치에 변화를 준 보강골조

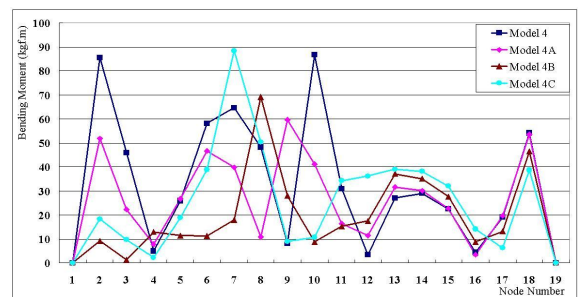
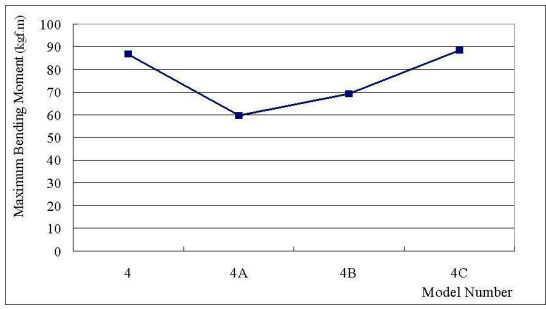


그림 13. 분기형가새 설치위치에 따른 골조의 휨모멘트

그림 14. 분기형가새 설치위치에 따른 골조의 최대휨모멘트

그림 15. 분기형가새 설치위치에 따른 골조의 최대수평변위

6. 연동형 골조의 보강



본 연구에서는 분기형가새의 연동형골조에 대한 적용성을 검토하기 위하여 기존 표준비닐하우스 G형 골조가 횡으로 연결된 그림 16의 모델 15를 토대로 5가지의 분기형 가새로 연동형 골조의 내부를 보강하였다.

그림 16의 모델 16-20은 연동형 골조의 좌우측에 분기 위치를 달리한 분기형 가새가 설치된 5개의 해석 모델을 나타낸 것이다. 이 모델들을 토대로 연동형골조의 내부에 설치된 분기형가새의 풍하중에 대한 보강효과를 확인하고자 한다.

연동형 비닐하우스 골조에 작용하는 풍하중은 앞에서 언급한 단동형골조와 동일한 풍속과 계수들을 사용하여 구하였으며, 그림 17에 연동형골조의 각 부위에 작용하는 설계풍하중을 표시하였다.

그림 18은 그림 16에서 보는 바와 같은 연동형 비닐하우스 골조에 풍하중이 작용하였을 때 골조의 각 부위에서 발생하는 휨모멘트의 변화를 나타낸 것이고 그림 19는 이 골조들의 최대휨모멘트를, 그림 20은 최대수평변위를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 처마에서부터 분기형가새의 분기 위치가 멀어질수록 골조의 최대휨모멘트와 최대수평변위가 크게 감소하였으며 해석모델 18의 최대휨모멘트는 보강이 없는 해석모델 15의 69.4% 정도로서 매우 양호한 보강효과를 보였다.

연동형골조에서도 단동형의 경우와 마찬가지로 가새의 분기위치가 처마에서 멀어질수록 응력과 변위에 대한 보

그림 16. 분기형가새로 보강된 연동형 골조

강효과가 우수하게 나타났으며, 연동형골조의 내부에 설치된 분기형가새의 풍하중에 대한 보강효과를 확인할 수 있다.

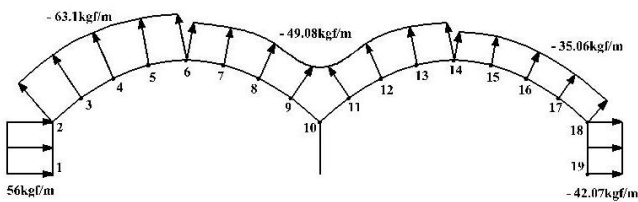
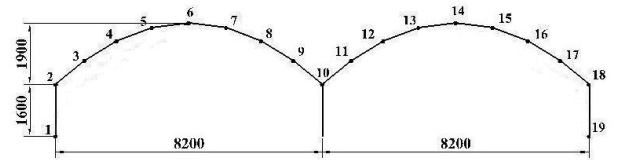
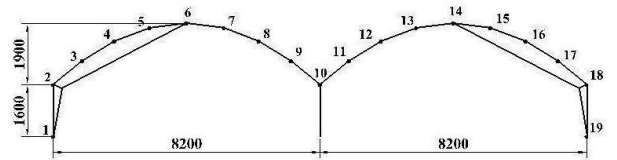


그림 17. 연동형골조에 작용하는 설계풍하중

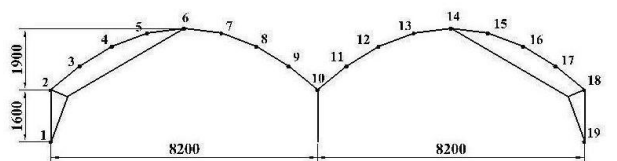
그림 18. 분기형가새가 보강된 연동형골조의 휨모멘트



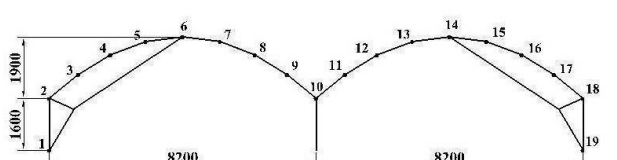
(a) Model 15



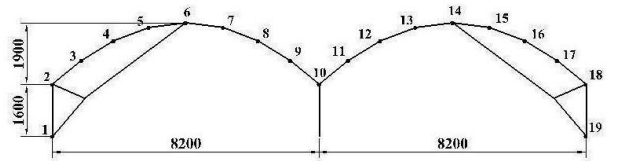
(b) Model 16



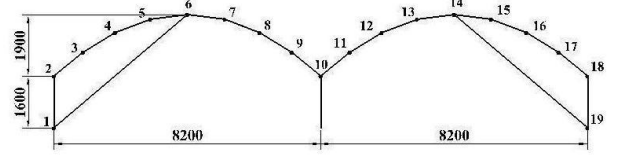
(c) Model 17



(d) Model 18



(e) Model 19



(f) Model 20

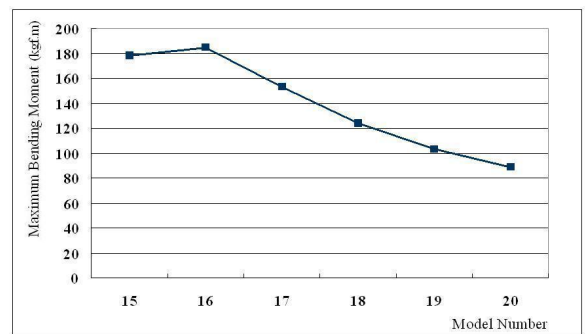


그림 19. 분기형가새가 보강된 연동형골조의 최대휨모멘트

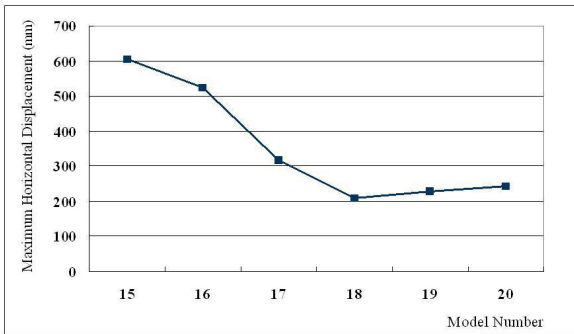


그림 20. 분기형가새가 보강된 연동형골조의 최대수평변위

7. 결론

본 연구에서는 강풍에 대비한 비닐하우스 골조의 간단한 보강방법에 대하여 연구하였다. 본 연구에서 골조의 보강에 사용한 강선의 직경은 3mm로서 골조파이프의 직경인 32mm에 비해 매우 작은 치수를 사용하므로 비닐하우스 내부의 채광량 확보에는 문제가 없을 것으로 판단되며, 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 골조의 처마에서부터 분기형가새의 분기 위치가 멀어질수록 풍하중에 의한 골조의 응력과 변위가 크게 감소하나 가새의 설치 높이가 낮아지게 되므로 각종 대형 장비의 비닐하우스 내부 작업성에 지장을 초래하게 된다. 따라서 작업에 지장을 주지 않는 범위에서 최대한 분기 위치를 골조에서 멀리하여 설치하는 것이 보강효과가 가장 좋다.
- 2) 적설하중과 같은 수직하중에 대한 보강효과가 뛰어난 것으로 입증된 수평가새와 X형가새가 풍하중에 대해서는 효과가 없거나 오히려 응력의 상태를 악화시킬 수 있다. 이것은 골조의 전체 높이에 걸쳐 설치되는 분기형가새와는 달리 보강위치가 골조의 상부에 치우쳐 있기 때문인 것으로 판단된다.
- 3) 분기형가새의 상부를 아치 상단에 접합하는 것보다 아치 상단에서 스패의 1/16 정도 떨어진 위치에 접합하는 경우 더 큰 응력과 변위의 감소를 보였다.
- 4) 연동형 골조에서도 단동형의 경우와 유사한 결과를 보였으며, 연동형골조의 내부에 설치된 분기형가새는 풍하중에 대해 뛰어난 보강효과를 가지고 있다.

참고문헌

1. 이병일 외 14인, 시설원예학, 향문사, 서울, 2002, p.37
2. 건축물 하중기준 및 해설, 대한건축학회, 서울, 2000, p.32
3. 건설교통부고시 건축구조설계기준, 대한건축학회, 서울, 2005, p.77
4. 원예특작시설 내재해기준 지정고시, 농림부, 2007
5. 이석건, 풍·설해 경감을 위한 비규격 소형 비닐하우스모델의 개발, 한국과학재단, 2004

(접수: 2010.03.18, 심사완료: 2010.05.06)